



RESEARCH, DESIGN, AND FABRICATION OF EXPERIMENTAL EQUIPMENT FOR MEASURING THE ADIABATIC TEMPERATURE RISE IN CONCRETE

Do Van Thang, Do Anh Tu*, Nguyen Trung Dung

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 08/02/2025

Revised: 21/03/2025

Accepted: 28/03/2025

Published online: 15/04/2025

<https://doi.org/10.47869/tcsj.76.3.8>

* *Corresponding author*

Email: doanhtu@utc.edu.vn; Tel: +84947989218

Abstract. Experiments on measuring the temperature rise in concrete during cement hydration are still relatively new and not yet widely applied in Vietnam. The objective of this experiment is to evaluate the temperature rise from cement hydration for each concrete mix design. This evaluation enables the quick selection of an appropriate mix design for construction projects, such as bridge construction. This paper presents a model of an experimental device for measuring the temperature rise in concrete. The key results achieved include designing the system's block diagram, developing a temperature compensation control algorithm, fabricating a complete experimental device for measuring concrete's temperature rise, and enabling remote monitoring and operation via the internet. The experimental results can be extracted in Excel format. The integration of devices such as temperature controllers, internet connection equipment, and PLC controllers enhances the device's fabrication speed, reliability, and convenience while maintaining reasonable costs. The research findings contribute to promoting the widespread application of temperature rise measurement experiments for concrete in Vietnam.

Keywords: adiabatic temperature rise, heat of cement hydration, adiabatic calorimeter, heat compensation control.



NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM ĐO NHIỆT ĐỘ ĐOẠN NHIỆT CHO BÊ TÔNG

Đỗ Văn Thắng, Đỗ Anh Tú*, Nguyễn Trung Dũng

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 08/02/2025

Ngày nhận bài sửa: 21/03/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/03/2025

Ngày xuất bản Online: 15/04/2025

<https://doi.org/10.47869/tcsj.76.3.8>

* Tác giả liên hệ

Email: doanhtu@utc.edu.vn; Tel: +84947989218

Tóm tắt. Thí nghiệm về đo nhiệt thủy hóa của xi măng cho bê tông vẫn còn khá mới mẻ và chưa được áp dụng rộng rãi ở Việt Nam. Mục tiêu của thí nghiệm nhằm đánh giá nhiệt thủy hóa của xi măng tương ứng với từng cấp phối bê tông. Từ đó, có thể lựa chọn loại cấp phối hợp lý cho công trình xây dựng (chẳng hạn như công trình cầu). Bài báo này trình bày một mô hình thiết bị thí nghiệm đo nhiệt độ đoạn nhiệt cho bê tông. Một số kết quả đạt được bao gồm: thiết kế sơ đồ khối hệ thống, thuật toán điều khiển bù nhiệt, chế tạo hoàn chỉnh thiết bị thí nghiệm đo nhiệt độ đoạn nhiệt cho bê tông, thiết bị cho phép theo dõi và vận hành từ xa trên internet, kết quả thí nghiệm có thể trích xuất dưới dạng file excel. Việc tích hợp các thiết bị như bộ điều khiển nhiệt độ, thiết bị kết nối internet, bộ điều khiển PLC giúp việc chế tạo thiết bị trở nên nhanh chóng, hoạt động tin cậy, nhiều tiện ích mà vẫn đảm bảo chi phí hợp lý. Kết quả nghiên cứu của nhóm góp phần thúc đẩy việc áp dụng rộng rãi thí nghiệm đo nhiệt độ đoạn nhiệt cho bê tông tại Việt Nam.

Từ khóa: đo nhiệt độ đoạn nhiệt, nhiệt thủy hóa của xi măng, thiết bị đo nhiệt độ đoạn nhiệt, điều khiển bù nhiệt.

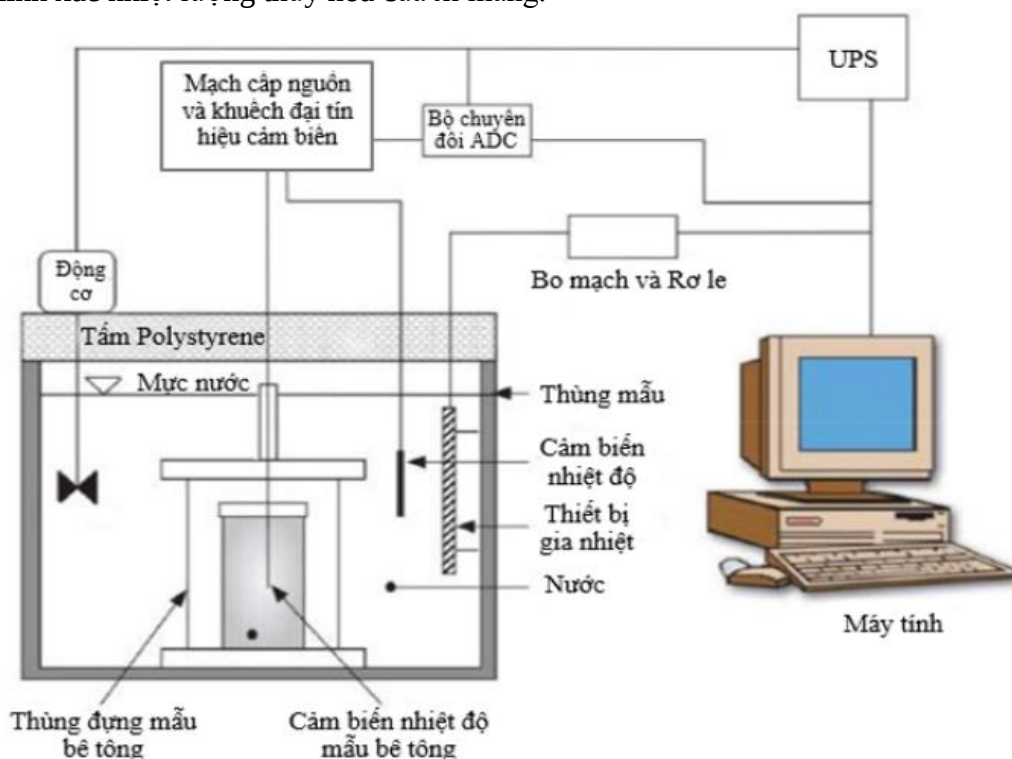
@ 2025 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thủy hóa là quá trình xi măng phản ứng với nước và các thành phần khác để tạo thành bê tông, một lượng nhiệt sẽ được tỏa ra sau một thời gian phối trộn. Nếu bê tông khối lớn có sự chênh lệch nhiệt độ giữa các vùng, và kèm theo các điều kiện kìm giữ sẽ gây ra ứng suất dẫn đến bê tông bị nứt. Do đó việc xác định chính xác nhiệt thủy hóa của xi măng ngay từ giai đoạn thiết kế cấp phối là rất quan trọng. Kết quả này là cơ sở để lựa chọn loại cấp phối cũng như phương án giảm nhiệt cho bê tông trong quá trình thủy hóa.

Có hai phương pháp thí nghiệm phổ biến để đo nhiệt lượng thủy hóa của xi măng là phương pháp bán đoạn nhiệt và đoạn nhiệt [1]. Phương pháp bán đoạn nhiệt thực hiện đo nhiệt lượng của mẫu bê tông khối lớn hoặc mẫu nhỏ được bọc cách nhiệt. Phương pháp đo bán đoạn nhiệt điển hình như phương pháp Mockup. Nhược điểm của phương pháp bán đoạn nhiệt là không đo được chính xác nhiệt lượng thủy hóa. Cho đến nay Nhật Bản và các nước Châu Âu đã phát triển phương pháp thí nghiệm đoạn nhiệt cho bê tông và sự ra đời của các tiêu chuẩn JCI-SQA3 (Nhật bản) [2] hay EN 12390-15:2019 (Châu Âu) [3].

Thí nghiệm đoạn nhiệt dựa trên nguyên lý cân bằng nhiệt độ giữa bên trong mẫu và môi trường bên ngoài. So với phương pháp thí nghiệm bán đoạn nhiệt thì phương pháp thí nghiệm đoạn nhiệt yêu cầu nhiều thiết bị hơn và điều khiển phức tạp hơn, đổi lại thì phương pháp này đo được chính xác nhiệt lượng thủy hóa của xi măng.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của thiết bị đo đoạn nhiệt [4].

Trong Hình 1 là sơ đồ nguyên lý cơ bản của thiết bị đo đoạn nhiệt được đề nghị bởi Gibbon và cộng sự [4], ngoài tính năng đo lường nhiệt độ thì phần mềm máy tính cần điều khiển nhiệt độ nước bên ngoài để đảm bảo không xảy ra mất mát nhiệt độ từ mẫu bê tông ra bên ngoài và ngược lại không để nhiệt từ bên ngoài truyền vào mẫu bê tông.

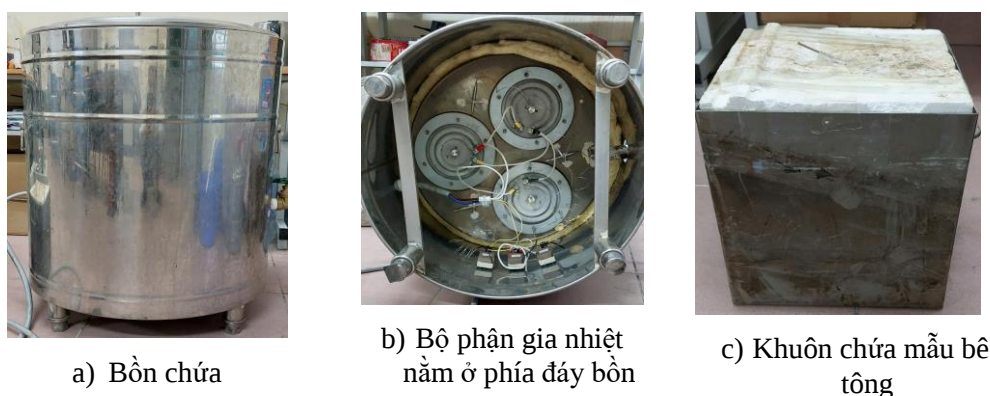
Ngoài hai phương pháp thí nghiệm bán đoạn nhiệt và đoạn nhiệt thì việc xác định nhiệt lượng thủy hóa của xi măng có thể được thực hiện bằng phương pháp thực nghiệm [5],[6]. Phương pháp thực nghiệm là phương pháp đo nhiệt lượng thủy hóa của xi măng thực tế tại công trình.

Hiện nay ở nước ta việc xác định nhiệt lượng thủy hóa của xi măng chủ yếu vẫn sử dụng phương pháp bán đoạn nhiệt [7]. Việc áp dụng phương pháp thí nghiệm đoạn nhiệt cho bê tông xi măng vẫn còn chưa phổ biến, minh chứng bằng việc chưa có Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) về xác định nhiệt thủy hóa theo phương pháp đoạn nhiệt. Nghiên cứu đánh giá nhiệt thủy hóa trong bê tông khối lớn bằng các phương pháp thực nghiệm và mô phỏng số đã trình bày hai phương pháp thí nghiệm đo lượng nhiệt thủy hóa của bê tông là phương pháp Mockup và phương pháp đoạn nhiệt [8]. Khác với nghiên cứu [8] sử dụng môi trường gia nhiệt là không khí, bài báo này nhóm nghiên cứu sử dụng môi trường gia nhiệt là nước vì nước có hệ số dẫn nhiệt lớn hơn so với không khí. Để điều khiển nhiệt độ được nhanh và chính xác thì nhóm nghiên cứu đã sử dụng bộ điều khiển PID [9], xây dựng thuật toán điều khiển cho bộ điều khiển PLC. Sau đó tiến hành thiết kế, chế tạo thiết bị thí nghiệm đo nhiệt độ đoạn nhiệt cho bê tông. Cuối cùng là thử nghiệm và đánh giá kết quả. Ngoài ra, nhóm nghiên cứu cũng đã tiến hành tích hợp IoT vào hệ thống giúp việc thu thập, quản lý và trích xuất dữ liệu một cách nhanh chóng và thuận tiện.

2. THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN

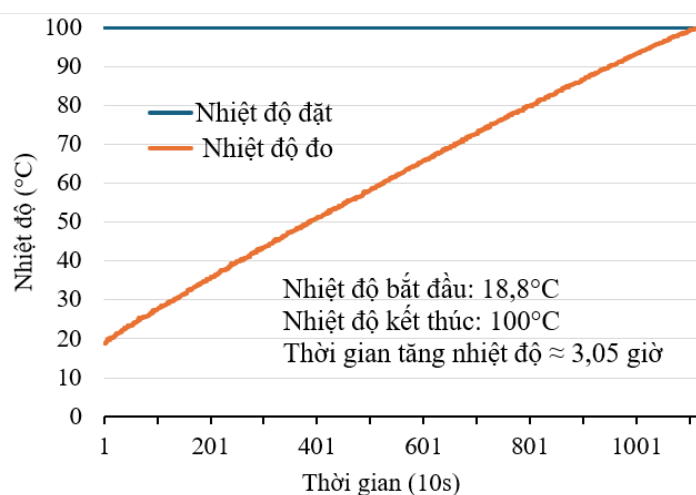
2.1. Khảo sát đặc tính gia nhiệt

Hình 2 trình bày bồn chứa, bộ phận gia nhiệt và khuôn chứa mẫu bê tông. Bồn chứa là hình trụ tròn có foam cách nhiệt ở giữa, kích thước bên trong 27cm x 50cm (đường kính x chiều cao). Bồn chứa có khả năng chứa 20L nước để có thể ngâm toàn bộ khuôn chứa mẫu bê tông. Khuôn chứa mẫu bê tông có kích thước 25cm x 25cm x 25cm. Thực hiện lắp 03 bộ gia nhiệt nằm ở phía đáy bồn chứa giúp việc truyền nhiệt vào môi trường nước được nhanh và đồng đều. Tổng công suất bộ phận gia nhiệt là 1000W, điện áp hoạt động 220VAC.



Hình 2. Bồn và khuôn chứa mẫu bê tông.

Trong Hình 3 nhóm nghiên cứu đã tiến hành khảo sát tìm đường đặc tính tăng nhiệt độ của bồn chứa mẫu bê tông như sau: Tiến hành gia nhiệt 20L nước từ nhiệt độ ban đầu 18,8°C với 100% công suất cho đến khi nhiệt độ đạt được 100°C thì dừng lại. Chu kỳ lấy mẫu là 10 giây, đường đặc tính gia nhiệt thu được có dạng tương đương với phương trình tuyến tính bậc nhất, tổng thời gian gia nhiệt là 11000 giây $\approx$ 3,05 giờ.

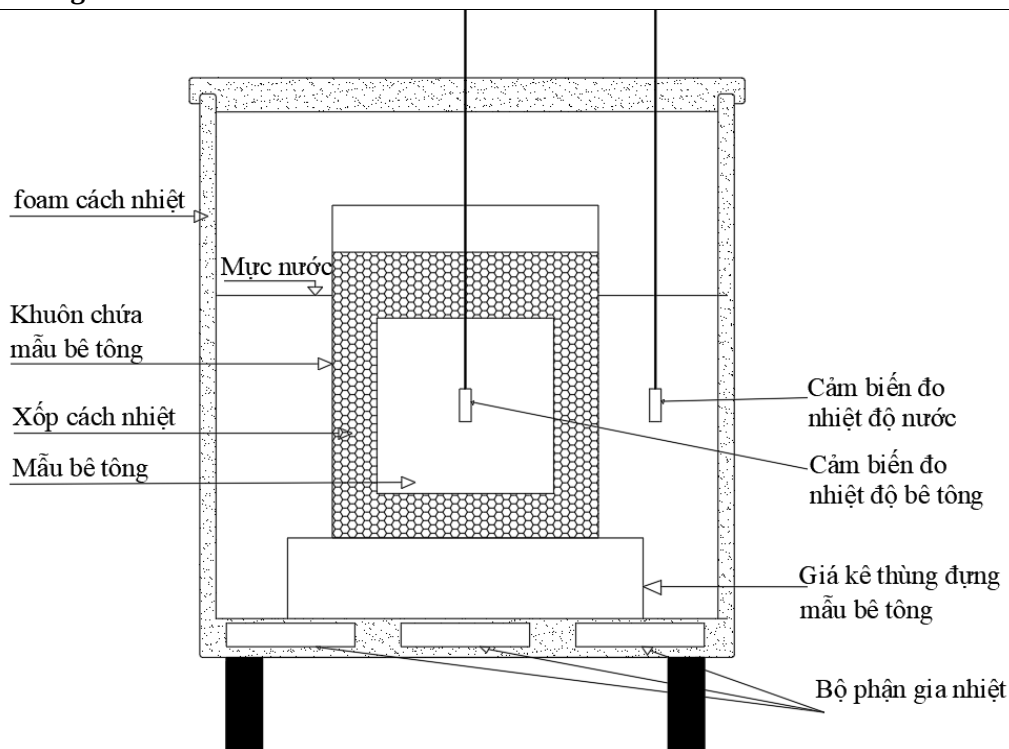


Hình 3: Khảo sát đường đặc tính điều khiển gia nhiệt 20L nước.

Bảng 1 thể hiện phép so sánh tốc độ tăng nhiệt độ giữa bồn chứa mà nhóm nghiên cứu sử dụng với kết quả đo nhiệt độ cấp phối bê tông bằng phương pháp đoạn nhiệt mẫu 20L [8]. Kết quả so sánh có thể khẳng định được công suất và tốc độ gia nhiệt của bồn chứa mẫu bê tông mà nhóm nghiên cứu sử dụng là hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu về tốc độ gia nhiệt.

Bảng 1. So sánh và đánh giá tốc độ gia nhiệt.

	Thí nghiệm đoạn nhiệt mẫu 20L [8]	Bồn chứa mà nhóm sử dụng (gia nhiệt 20L nước)
Tốc độ tăng nhiệt độ trung bình	2°C /giờ	25°C/giờ

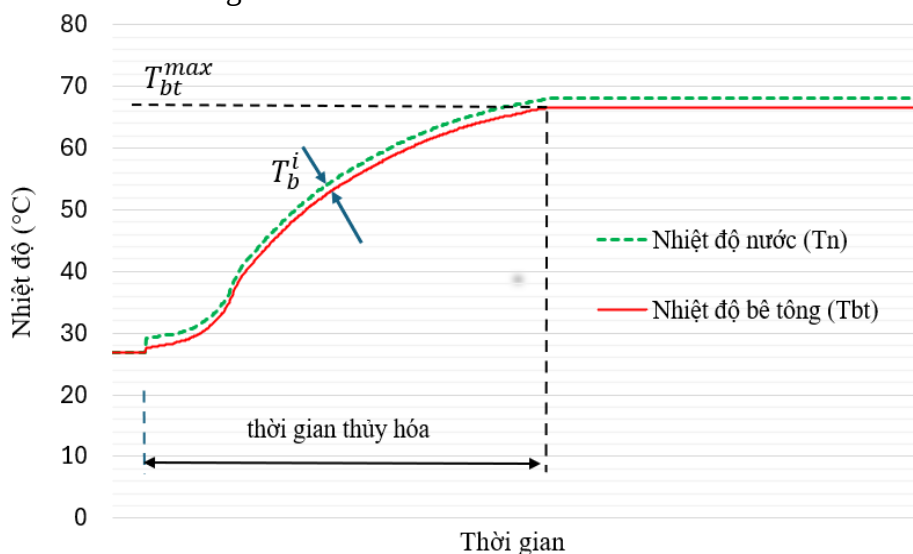


Hình 4. Mô hình bồn thí nghiệm đo nhiệt độ đoạn nhiệt cho bê tông.

Hình 4 là mô hình bồn thí nghiệm đo nhiệt độ đoạn nhiệt cho bê tông mà nhóm nghiên cứu thiết kế. Khác với thiết bị đo đoạn nhiệt được đề nghị bởi Gibbon và cộng sự, nhóm nghiên cứu đã sử dụng bộ phận gia nhiệt nằm ở phía dưới bồn. Điểm đặc biệt là nhóm nghiên cứu đã sử dụng vật liệu xốp cách nhiệt ngăn cách giữa mẫu thí nghiệm và khuôn chứa. Việc sử dụng vật liệu xốp cách nhiệt giữa mẫu thí nghiệm và khuôn chứa để làm chậm lại sự truyền nhiệt giữa mẫu thí nghiệm với môi trường nước bên ngoài. Khi thử nghiệm thực tế, lớp xốp được sử dụng có độ dày 35mm giúp việc truyền nhiệt giữa mẫu bê tông và môi trường nước là đủ chậm để quá trình điều khiển đoạn nhiệt đạt được độ chính xác cao.

2.2. Thuật toán điều khiển

Trong Hình 5 là minh họa biểu đồ nhiệt độ nước, nhiệt độ mẫu bê tông và phần nhiệt độ bù. Khi phát hiện nhiệt độ trong mẫu bê tông bắt đầu tăng rõ rệt (vượt quá nhiệt độ nước) thì cần phải điều khiển nhiệt độ nước cao hơn một lượng T_b (nhiệt độ bù) để bù nhiệt thất thoát từ nước ra thành bình bên ngoài. Mục đích của việc này là luôn tạo sự cân bằng về nhiệt giữa nhiệt độ của mẫu bê tông và nhiệt độ của nước ở bên ngoài tại mọi thời điểm có xét đến sự mất mát nhiệt từ nước ra bên ngoài.



Hình 5. Minh họa biểu đồ nhiệt độ nước và nhiệt độ bê tông và phần nhiệt độ bù.

Gọi T_{bt} là nhiệt độ trong mẫu bê tông. Để nhiệt lượng Q được bảo toàn trong thùng đựng mẫu bê tông thì cần phải điều khiển nhiệt độ nước theo công thức sau:

$$T_n = T_{bt} + T_b \quad (1)$$

Trong đó: T_n là nhiệt độ nước, T_b là nhiệt độ bù.

Nhiệt độ bù giúp bù mất mát nhiệt do việc truyền nhiệt từ nước ra thành bình bên ngoài.

$$T_n^i = T_{bt}^i + T_b^i \quad (2)$$

Với i là bước thời gian lấy mẫu; $i=1,2,3,...n$.

Sự biến thiên nhiệt độ bê tông được tính toán theo công thức:

$$\Delta T_{bt}^i = T_{bt}^i - T_{bt}^{i-1} \quad (3)$$

Thực tế hiện tượng thủy hóa có thể xảy ra ngay từ khi bắt đầu quá trình trộn mẫu bê tông, tuy nhiên nhiệt tượng tỏa ra là không đáng kể. Sau đó quá trình thủy hóa sẽ diễn ra mạnh dần và kéo theo sự tăng nhiệt độ của bê tông đến một nhiệt độ giới hạn T_{bt}^{max} . Nhiệt độ này được

xác định khi $\Delta T_{bt}^i \leq 0$. Sau đó, bằng việc quan sát giá trị nhiệt độ bê tông T_{bt} sẽ đánh giá tính đúng đắn của thuật toán điều khiển bù nhiệt.

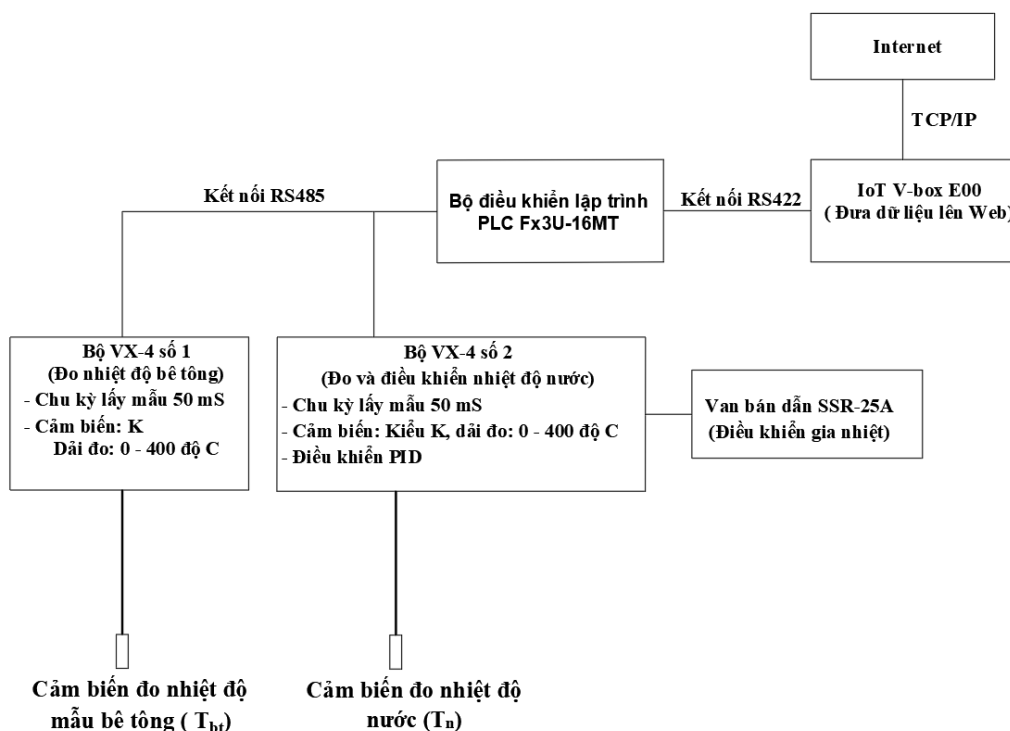
3. THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

3.1. Sơ đồ khối hệ thống

Trong Hình 6 nhóm nghiên cứu đã thiết kế sơ đồ khối hệ thống thiết bị đo nhiệt độ đoạn nhiệt cho bê tông. Hệ thống bao gồm 02 bộ điều khiển nhiệt độ, bộ thứ nhất thực hiện đọc nhiệt độ trong mẫu bê tông sử dụng cảm biến loại K với dải đo từ 0 – 400°C, độ phân giải 0,1°C. Bộ điều khiển nhiệt độ thứ hai ngoài nhiệm vụ đọc nhiệt độ nước còn phải thực hiện điều khiển nhiệt độ nước theo thuật toán điều khiển PID [9], tín hiệu điều khiển từ bộ điều khiển nhiệt độ đi đến bộ van bán dẫn SSR. Van bán dẫn SSR làm nhiệm vụ cấp nguồn cho bộ phận gia nhiệt. Bộ điều khiển lập trình PLC hãng Mitsubishi có mã Fx3U-16MT đóng vai trò là bộ điều khiển trung tâm, được nhúng thuật toán điều khiển. Bộ điều khiển Fx3U-16MT có tốc độ xử lý 0,065 μ S/lệnh, bộ nhớ chương trình 64000 lệnh, đáp ứng tiêu chuẩn quốc tế IEC61131-2. Bộ điều khiển này được tích hợp 01 cổng truyền thông RS422 và cho phép mở rộng tối đa 02 mô đun truyền thông RS485. Trong sơ đồ khối ở Hình 6 nhóm nghiên cứu thực hiện kết nối mở rộng thêm 01 mô đun truyền thông RS485 làm nhiệm vụ truyền thông với 02 bộ điều khiển nhiệt độ sử dụng giao thức truyền thông Modbus RTU. Thông qua giao thức kết nối Modbus RTU bộ điều khiển PLC sẽ thực hiện đọc về giá trị nhiệt độ bê tông (T_{bt}) và giá trị nhiệt độ nước (T_n). Sau đó, sử dụng thuật toán điều khiển để gán giá trị đặt xuống bộ điều khiển nhiệt độ thứ hai. Giá trị đặt của bộ điều khiển nhiệt độ thứ hai được tính theo công thức:

$$SV2 = T_{bt} + T_b \quad (4)$$

Khi giá trị SV2 thay đổi, bộ điều khiển nhiệt độ sẽ thực hiện thuật toán điều khiển PID để điều khiển nhiệt độ nước bằng với giá trị SV2.

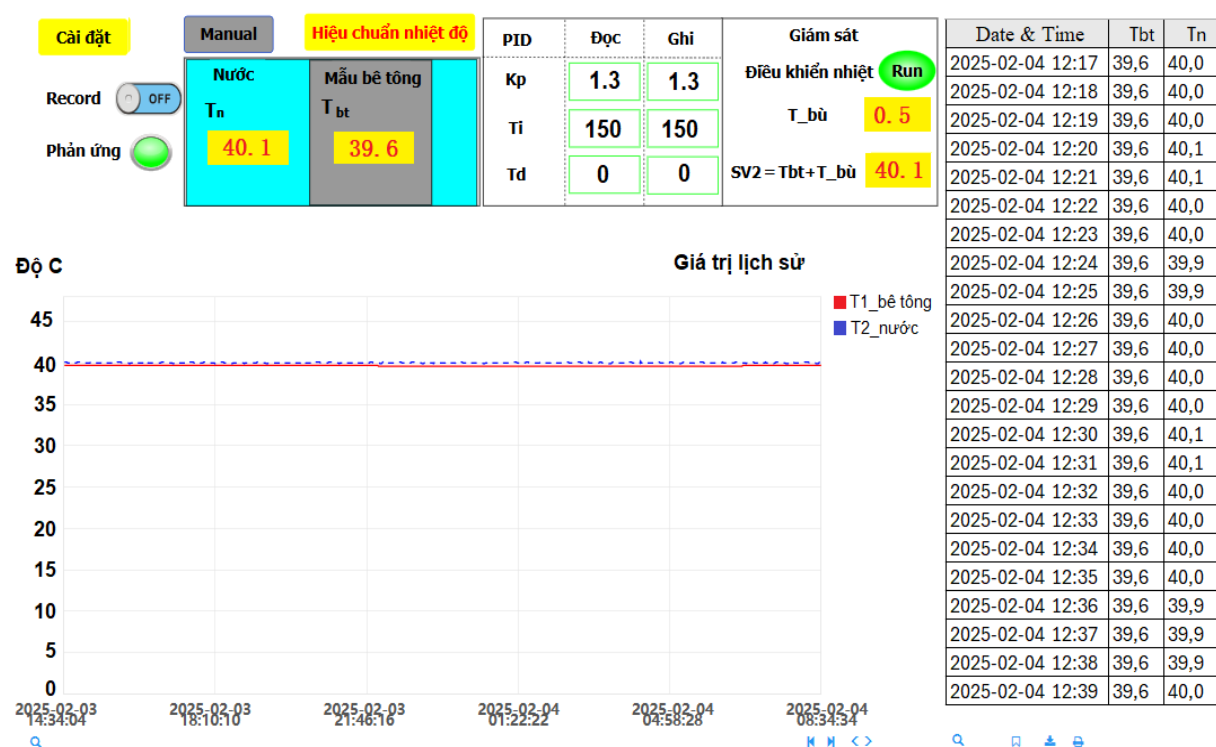


Hình 6. Sơ đồ khối hệ thống thiết bị đo nhiệt độ đoạn nhiệt cho bê tông.

Thiết bị kết nối Internet V-box E00 cho phép lập trình thiết kế giao diện điều khiển và giám sát trực tiếp trên Web. Hình 7 là giao diện theo dõi và vận hành thiết bị thí nghiệm trên Web, các tính năng chính của giao diện bao gồm:

- i) Hiệu chuẩn nhiệt độ: Nhiệt độ T_{bt} được chuẩn hóa theo T_n .
- ii) Cài đặt: Nhiệt độ T_b , tham số bộ điều khiển PID.
- iii) Giám sát và trích xuất dữ liệu: nhiệt độ T_{bt} , T_n được giám sát theo thời thực và cho phép lưu trữ dưới dạng file excel.

Lượng dữ liệu có thể lưu trữ trên Web là 10^6 mẫu dữ liệu trong thời gian 60 ngày. Chỉ cần thiết bị có kết nối Internet như điện thoại, máy tính bảng hoặc máy tính là hoàn toàn có thể truy cập, theo dõi và vận hành được thiết bị thí nghiệm. Tính năng theo dõi và vận hành từ xa này là rất có ý nghĩa khi mỗi lần thí nghiệm thời gian kéo dài lên đến 3-4 ngày liên tục.



Hình 7. Giao diện theo dõi và vận hành thiết bị thí nghiệm trên Web.

3.2. Thử nghiệm và đánh giá kết quả

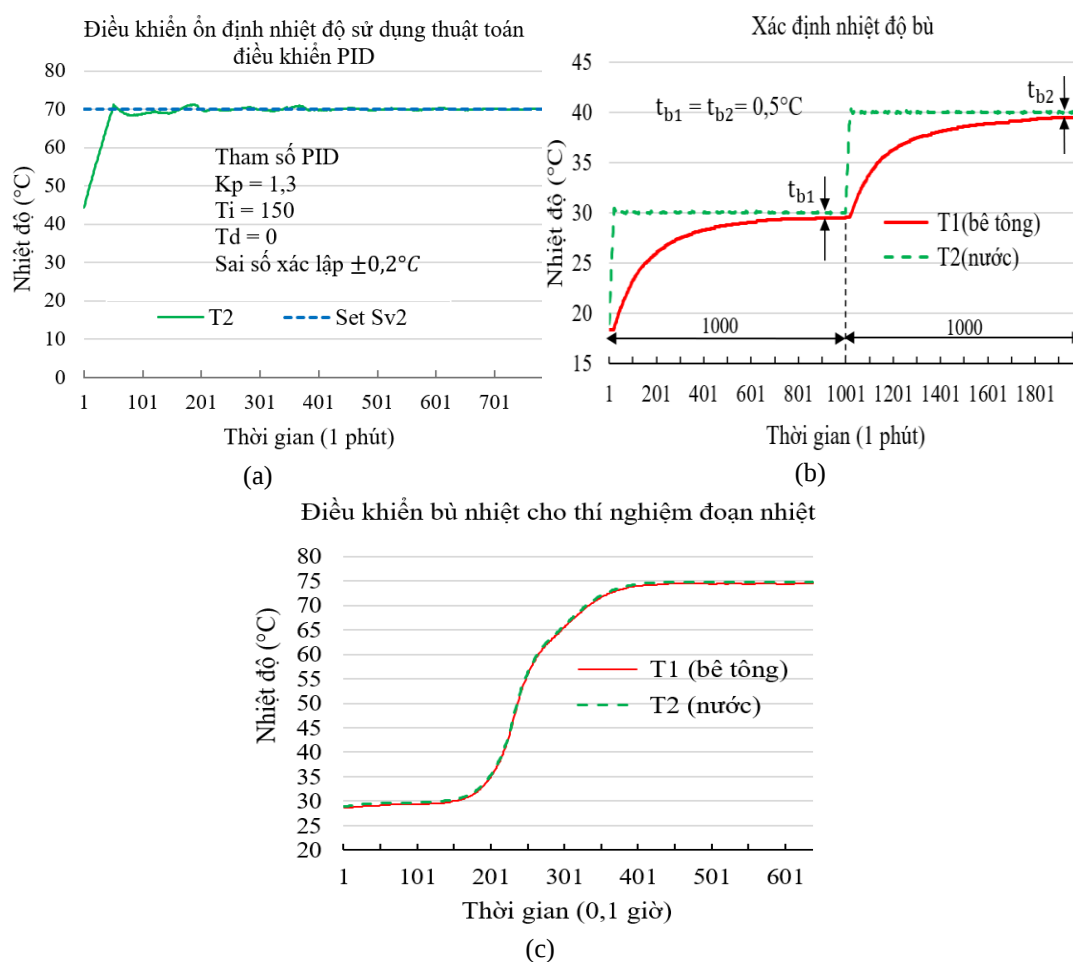
Bảng 2 là thành phần cấp phối bê tông mà nhóm nghiên cứu sử dụng trong các lần thí nghiệm [10] và Hình 8 là công các chuẩn bị, trộn mẫu thí nghiệm tuân thủ theo một quy trình thống nhất.

Bảng 2. Thành phần cấp phối bê tông (kg/m^3).

N/CKD	Nước	Xi măng	Tro bay	Đá 5x10 (mm)	Cát	Phụ gia (kg)
0,32	170	371	159	1050	680	5,5



Hình 8. Công tác chuẩn bị, trộn mẫu thí nghiệm.



Hình 9. Thử nghiệm và đánh giá kết quả.

Hình 9 thể hiện quá trình thử nghiệm và đánh giá kết quả, bao gồm:

- a) Thử nghiệm và điều chỉnh tham số bộ điều khiển PID: Các tham số K_p , T_i , T_d được chọn là phù hợp, hệ thống cho chất lượng điều khiển tốt với sai số xác lập tĩnh là $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Nhiệt độ nước bám với nhiệt độ đặt $SV2 = 70^\circ\text{C}$.
- b) Tìm giá trị T_b : thực hiện 02 lần tăng nhiệt độ T_n và quan sát nhiệt độ T_{bt} đều thu được $T_b = 0,5^\circ\text{C}$. Nhiệt độ bù này được khảo sát trước khi thực hiện thí nghiệm đo nhiệt độ đoạn nhiệt cho bê tông. Giá trị T_b được xác định tùy thuộc vào mô hình bồn thí nghiệm cụ thể được chế tạo.
- c) Thử nghiệm và đánh giá hệ thống với thuật toán điều khiển bù nhiệt: Quá trình thủy hóa diễn ra trong khoảng 40h, sau thời gian này nhiệt độ T_{bt} được giữ nguyên giá trị $\approx 75,0^\circ\text{C}$, qua đó cho thấy thuật toán điều khiển bù nhiệt là phù hợp. Kết quả thử nghiệm đúng với dữ liệu đã có trong tài liệu tham khảo [10].

4. KẾT LUẬN

Nhóm nghiên cứu đã đưa ra thuật toán điều khiển bù nhiệt, thiết kế và chế tạo thiết bị thí nghiệm đo nhiệt độ đoạn nhiệt cho bê tông một cách hoàn chỉnh. Việc tích hợp các thiết bị như bộ điều khiển nhiệt độ, thiết bị kết nối internet, bộ điều khiển PLC đã giúp việc chế tạo thiết bị trở nên nhanh chóng, hoạt động tin cậy, nhiều tiện ích mà vẫn đảm bảo chi phí hợp lý. Kết quả nghiên cứu của nhóm tạo tiền đề để các phòng thí nghiệm về lĩnh vực công trình tại Việt Nam có thể chủ động thiết kế và chế tạo thiết bị thí nghiệm đo nhiệt độ đoạn nhiệt cho bê tông.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số T2024-TTKHCN-001.

Nhóm nghiên cứu xin chân thành cảm ơn các thí nghiệm viên Phòng thí nghiệm công trình - Trung tâm KHCN GTVT đã hỗ trợ nhóm nghiên cứu trong quá trình thực hiện nghiên cứu thực nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đỗ Anh Tú, Hiệu ứng nhiệt trong bê tông, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2017.
- [2]. JCI-SQA3, Test method for Adiabatic temperature rise of concrete, Japan Concrete Institute, 2004.
- [3]. EN-12390, Testing hardened concrete - Part 15: Adiabatic method for the determination of heat released by concrete during its hardening process, 2019.
- [4]. G.J. Gibbon, Y. Ballim, G.R.H. Grieve, A low-cost, computer-controlled adiabatic calorimeter for determining the heat of hydration of concrete, Journal of Testing and Evaluation, 25 (1997) 261-266.
- [5]. T.A. Yikici, H.L. Chen, Numerical prediction model for temperature development in mass concrete structures, Transportation Research Record, 2508 (2015) 102-110. <https://doi.org/10.3141/250>
- [6]. K.A. Riding, J.L. Poole, M.C.G. Juenger, K.J. Folliard, Evaluation of temperature prediction methods for mass concrete members, ACI Materials Journal, 103 (2006) 357-365.

- [7]. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 11970:2018 về Xi măng - Xác định nhiệt thủy hóa theo phương pháp bán đoạn nhiệt.
- [8]. Chu Thị Hải Vinh, Bùi Đức Vinh, Nguyễn Minh Nhật, Lê Văn Phước Nhân, Nguyễn Thanh Hải, Đánh giá nhiệt thủy hóa trong bê tông khối lớn bằng các phương pháp thực nghiệm và mô phỏng số, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, 17 (2023) 101–114. [https://doi.org/10.31814/10.31814/stce.huce\(nuce\)2023-17\(1V\)-09](https://doi.org/10.31814/10.31814/stce.huce(nuce)2023-17(1V)-09)
- [9]. Lê Hùng Lân, Nguyễn Văn Tiềm, Hệ thống điều khiển tuyến tính, NXB GTVT, Hà Nội, 2024.
- [10]. Hoàng Thị Tuyết, Nghiên cứu ứng xử nhiệt và một số giải pháp kiểm soát nhiệt, hạn chế vết nứt trong bê tông cường độ cao tuổi sớm kết cấu cầu, Luận án Tiến sỹ Kỹ thuật, Đại học Giao thông Vận tải, 2022.